

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representation of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
 - TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
 - FADED TEXT
 - ILLEGIBLE TEXT
 - SKEWED/SLANTED IMAGES
 - COLORED PHOTOS
 - BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
-
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY

As rescanning documents *will not* correct images, please do not report the images to the Image Problem Mailbox.

INK JET RECORDER AND MANUFACTURE THEREOF

Patent Number: JP11348285
Publication date: 1999-12-21
Inventor(s): JINNO ISAKU; TAKAYAMA RYOICHI; KAMATA TAKESHI; FUJII SATORU
Applicant(s):: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD
Requested Patent: ☐ JP11348285
Application Number: JP19980161836 19980610
Priority Number(s):
IPC Classification: B41J2/045 ; B41J2/055 ; B41J2/16
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an ink jet head having ejection nozzles which are formed in high density by a method wherein a piezoelectric material and a vibration plate forming a piezoelectric device is made to be a thin film so that fine processing which is regularly used in a semiconductor process can be used.

SOLUTION: The ink jet recorder comprises an ink ejection nozzle, a pressure generating chamber 1 connected to an ink ejection nozzle 2 and a piezoelectric vibration section which consists of a piezoelectric membrane 5 having Pb, Ti and Zr and electrodes 6, 7 provided to both sides of the piezoelectric membrane 5 and is provided to a part of the pressure generating chamber 1. The piezoelectric membrane 5 consists of a first layer 8 and a second layer 9 each having a perovskite structure both of which are contacted with each other. The first layer 8 does not include Zr or the content of the Zr in the first layer 8 is less than that in the second layer 9.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-348285

(43) 公開日 平成11年(1999)12月21日

(51) Int.Cl.⁰

B 4 1 J 2/045
2/055
2/16

識別記号

F I

B 4 1 J 3/04

1 0 3 A

1 0 3 H

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平10-161836

(22) 出願日 平成10年(1998)6月10日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 神野 伊策

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 高山 良一

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 鎌田 健

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

最終頁に続く

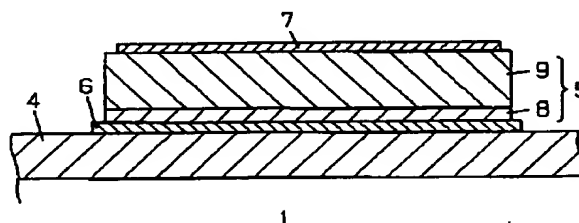
(54) 【発明の名称】 インクジェット記録装置とその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 圧電素子を構成する圧電体や振動板等を薄膜化することで半導体プロセスで一般に用いられている微細加工を可能とし、高密度に形成された吐出口を有するインクジェットヘッドを実現する。

【解決手段】 インク吐出口2と、インク吐出口に接続された圧力室1と、Pb、Ti及びZrを有する圧電膜5と圧電膜5の両側に設けられた電極6、7とを含んでなり圧力室1の一部に設けられた圧電振動部とを備え、圧電膜5を、それぞれベロブスカイト構造を有しかつ互いに接するように形成された第1層8と第2層9とを含んでなり、第1層8をZrを含まない層、又はZrの含有量が第2層9のZrの含有量に比較して少ない層とする。

1 圧力室
4 振動板
5 圧電膜
6, 7 電極
8 第1層
9 第2層



【特許請求の範囲】

【請求項1】 インク吐出口と、前記インク吐出口に接続された圧力室とを有する本体部と、鉛、チタン及びジルコニウムを有する圧電膜と前記圧電膜の両側に設けられた電極とを含んでなり前記圧力室の一部に設けられた圧電振動部とを備え、前記圧電振動部をたわみ振動させることによりインク吐出口からインクを吐き出させるインクジェットヘッド記録装置であって、前記圧電膜が、ストロンチウム又はバリウムを含むペロブスカイト構造を有する第1層と、前記第1層に接するように形成された鉛、チタン及びジルコニウムを有するペロブスカイト構造の第2層とを含んでいることを特徴とするインクジェットヘッド記録装置。

【請求項2】 インク吐出口と、前記インク吐出口に接続された圧力室とを有する本体部と、鉛、チタン及びジルコニウムを有する圧電膜と前記圧電膜の両側に設けられた電極とを含んでなり前記圧力室の一部に設けられた圧電振動部とを備え、前記圧電振動部をたわみ振動させることによりインク吐出口からインクを吐き出させるインクジェットヘッド記録装置であって、前記圧電膜が、それぞれペロブスカイト構造を有しかつ互いに接するように形成された第1層と第2層とを含んでなり、前記第1層のジルコニウムの含有量が前記第2層のジルコニウムの含有量に比較して少ないことを特徴とするインクジェットヘッド記録装置。

【請求項3】 インク吐出口と、前記インク吐出口に接続された圧力室とを有する本体部と、鉛、チタン及びジルコニウムを有する圧電膜と前記圧電膜の両側に設けられた電極とを含んでなり前記圧力室の一部に設けられた圧電振動部とを備え、前記圧電振動部をたわみ振動させることによりインク吐出口からインクを吐き出させるインクジェットヘッド記録装置であって、前記圧電膜が、それぞれペロブスカイト構造を有しかつ互いに接するように形成されたジルコニウムを有していない第1層とジルコニウムを有する第2層とを含んでなることを特徴とするインクジェットヘッド記録装置。

【請求項4】 第1層がランタンを含んでいる請求項2又は3のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項5】 第2層において、ジルコニウム／チタン比が、 $30/70$ 以上 $70/30$ 以下に設定された請求項1～4のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項6】 圧電膜が単結晶である請求項1～5のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項7】 圧電膜が、 $10\mu\text{m}$ 以下の厚さに形成されている請求項1～6のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項8】 圧電膜が、 $1\mu\text{m}$ 以上、 $3\mu\text{m}$ 以下の厚さに形成されている請求項7に記載のインクジェットヘ

ッド記録装置。

【請求項9】 第1層が、 50nm 以上、 100nm 以下の厚さに形成されている請求項7又は8に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項10】 圧電振動部がさらに振動板を備え、前記圧電振動部がたわみ振動する請求項1～9のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項11】 振動板が、ニッケル、クロム、アルミニウム及びそれらの酸化物、シリコン、シリコン酸化物、高分子有機物からなる群から選ばれた少なくとも1つの材料からなる請求項10に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項12】 圧電振動部において、電極間にさらに、圧電膜と中間電極層を介して対向する、前記圧電膜とは別の圧電膜を設け、その2つの圧電膜によってたわみ振動をさせる請求項1～9のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項13】 圧電膜の第2層が、ニオブ及びスズを含み反強誘電性を有する請求項1～12のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項14】 第1層において、ジルコニウムの濃度が厚さ方向に連続的に増加するように分布しておりかつジルコニウムの濃度が高い一方の面で第2層と接している請求項1～13のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項15】 圧電膜の両側に設けられた電極層が、白金又は金で形成されている請求項1～14のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項16】 本体部は複数のインク吐出口と各インク吐出口にそれぞれ対応して設けられた複数の圧力室を有し、圧電膜の両側に設けられた電極のうち少なくとも一方の電極を前記圧力室に対応するように分離して設けることにより、各圧力室に対応した圧電振動部を構成した請求項1～15のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項17】 圧電膜を圧力室に対応するように分離して設け、一方の電極を前記分離された各圧電膜上に形成した請求項16に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項18】 分離された圧電膜の間に、前記圧電膜の伸縮を阻害しない剛性の低い樹脂を充填した請求項16に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項19】 圧電振動部は、その周辺部が圧力室の周辺部と弾性を有しかつ膜厚が $3\mu\text{m}$ 以下の樹脂層を介して接合されている請求項1～18のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項20】 圧電振動部は、その周辺部が圧力室の周辺部と、セラミック、金属又は樹脂からなる台座を介して接合されている請求項1～18のうちのいずれか1項に記載のインクジェットヘッド記録装置。

【請求項21】 インク吐出口と前記インク吐出口に接続されかつ一部に開口部が形成された圧力室とを有する本体部と、前記開口部を塞ぐように設けられた圧電振動部とを備えたインクジェットヘッド記録装置の製造方法であって、基板上に、鉛及びチタンを含むペロブスカイト構造を有する第1層を形成し、第1層上にジルコニウムと鉛及びチタンとを含むペロブスカイト構造を有する第2層を形成することにより、前記第1層と第2層とを含む圧電膜を形成する工程とを含み、前記基板上に前記圧電膜を有する圧電振動部を形成する第1工程と、前記本体部の前記開口部の周辺部と前記圧電振動部の周辺部とを対向させて接合する第2工程と、接合後に前記基板を除去する第3工程とを含み、前記第1工程において、前記第1層をジルコニウムを含まないように、又は前記第2層に比較してジルコニウムの量が少なくなるように形成することを特徴とするインクジェットヘッド記録装置の製造方法。

【請求項22】 第1層及び第2層をスパッタリングにより形成した請求項21記載のインクジェットヘッド記録装置の製造方法。

【請求項23】 基板として酸化マグネシウム基板を用い、第3工程において、前記基板を硝酸を用いたエッチングにより除去した請求項21又は22記載のインクジェットヘッド記録装置の製造方法。

【請求項24】 基板としてシリコン基板又はガラス基板を用いた請求項21又は22記載のインクジェットヘッド記録装置の製造方法。

【請求項25】 第3工程において、基板をフッ酸系溶液又は水酸化カリウム溶液を用いてエッチングにより除去する請求項24記載のインクジェットヘッド記録装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、インクジェット記録装置に使用されるインクジェットヘッド記録装置及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、パソコンなどの印刷装置としてインクジェット記録装置を用いたプリンタが印字性能がよく取り扱いが簡単、低コストなどの理由から広く普及している。このインクジェット記録装置には、熱エネルギーによってインク中に気泡を発生させ、その気泡による圧力波によりインク滴を吐出させるもの、静電力によりインク滴を吸引吐出させるもの、圧電素子のような振動子による圧力波を利用したもの等、種々の方式がある。

【0003】一般に、圧電素子を用いたものは、例えば、インク供給室に連通した圧力室とその圧力室に連通したインク吐出口とを備え、その圧力室に圧電素子が接合された振動板が設けられて構成されている。このような構成において、圧電素子に所定の電圧を印加して圧電

素子を伸縮させることにより、たわみ振動を起こさせて圧力室内のインクを圧縮することによりインク吐出口からインク液滴を吐出させる。現在カラーのインクジェット記録装置が普及してきたが、その印字性能の向上、特に高解像度化および高速印字が求められている。そのためインクヘッドを微細化したマルチノズルヘッド構造を用いて高解像度および高速印字を実現する事が試みられている。インクヘッドを微細化するためには、インクを吐き出させるための圧電素子を小型化することが必要になる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この圧電素子の圧電膜は、 PbO 、 ZrO_2 及び TiO_2 の粉末をシート状に成型加工した後、焼成することにより形成する方法が採用されていたことから、圧電膜を例えば $20\mu m$ 以下に薄く形成することが困難であった。このために、圧電膜を微細に加工することが困難であり、圧電素子を小型化することが困難であった。また、このように粉末を焼成することにより形成された圧電膜は、その厚さが薄くなるに従って、結晶粒界の影響が無視できないようになり、良好な圧電特性を得ることができなかった。その結果、粉末を焼成することにより形成された圧電膜は、 $15\mu m$ 以下になるとインクを吐き出させるための十分な圧電特性を得ることができないという問題点があった。このため、十分なインクの吐出に必要な特性を有する小型のインクヘッドをこれまで実現することができなかった。

【0005】本発明は、膜厚が薄くても大きな圧電特性を有する薄膜材料を開発し、圧電素子を構成する圧電体や振動板等を薄膜化することで半導体プロセスで一般に用いられている微細加工を可能とし、高密度に形成された吐出口を有するインクジェットヘッドを実現する構成と、その製造方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明に係る第1のインクジェットヘッドは、インク吐出口とそのインク吐出口に接続された圧力室とを有する本体部と、 Pb 、 Ti 及び Zr を有する圧電膜と圧電膜の両側に設けられた電極とを含んでなり圧力室の一部に設けられた圧電振動部とを備え、圧電振動部をたわみ振動させることによりインク吐出口からインクを吐き出させるインクジェットヘッドであって、圧電膜が、 Sr 又は Ba を含むペロブスカイト構造を有する第1層と、第1層に接するように形成された Pb 、 Ti 及び Zr を有するペロブスカイト構造の第2層とを含んでいることを特徴とする。

【0007】このように、 Sr 又は Ba を含むペロブスカイト構造を有する第1層と第1層に接するように第2層とを含んで構成することにより、 Zr を含んでいる第2層を良質でかつ薄くしかも大きな圧電定数を有するように形成することができる。これによって、本発明の第

1のインクジェットヘッドは極めて小型で軽量にできる。

【0008】また、本発明に係る第2のインクジェットヘッドは、インク吐出口とインク吐出口に接続された圧力室とを備えた本体部と、Pb、Ti及びZrを有する圧電膜と圧電膜の両側に設けられた電極とを含んでなり圧力室の一部に設けられた圧電振動部とを備え、圧電振動部をたわみ振動させることによりインク吐出口からインクを吐き出させるインクジェットヘッドであって、圧電膜が、それぞれペロブスカイト構造を有しかつ互いに接するように形成された第1層と第2層とを含んでなり、第1層のZrの含有量が第2層のZrの含有量に比較して少ないことを特徴とする。

【0009】このように、圧電膜を互いに接するように形成された第1層と第2層とを含んで構成することにより、Zrを比較的多く含んでいる第2層を良質でかつ薄くしかも大きな圧電定数を有するように形成することができる。これによって、本発明の第2のインクジェットヘッドは極めて小型で軽量にできる。

【0010】また、本発明に係る第3のインクジェットヘッドは、インク吐出口とインク吐出口に接続された圧力室とを備えた本体部と、Pb、Ti及びZrを有する圧電膜と圧電膜の両側に設けられた電極とを含んでなり圧力室の一部に設けられた圧電振動部とを備え、圧電振動部をたわみ振動させることによりインク吐出口からインクを吐き出させるインクジェットヘッドであって、圧電膜が、それぞれペロブスカイト構造を有しかつ互いに接するように形成されたZrを有していない第1層とZrを有する第2層とを含んでなり、ことを特徴とする。

【0011】これによって、第2のインクジェットヘッドに比較してさらに良質で圧電定数の高い第2層が形成できる。

【0012】また、本発明に係る第2と第3のインクジェットヘッドでは、第1層を容易にかつ低温で形成するために、第1層がLaを含んでいることが好ましい。

【0013】さらに、本発明に係る第1～第3のインクジェットヘッドでは、圧電膜の圧電定数をさらに高くするために、第2層においてZr/Ti比が、30/70以上70/30以下に設定されることが好ましい。

【0014】また、本発明に係る第1～第3のインクジェットヘッドにおいて、圧電膜は単結晶であることがさらに好ましい。これによって、圧電膜を構成する材料の固有の圧電定数を効果的に利用することができる。

【0015】また、本発明に係る第1～第3のインクジェットヘッドにおいて、圧電膜が、10 μ m以下の厚さに形成されていることが好ましく、これによって、圧電膜の形状を微細に加工できる。

【0016】また、本発明に係る第1～第3のインクジェットヘッドにおいて、圧電膜が、1 μ m以上、3 μ m以下の厚さに形成されていることがさらに好ましく、こ

れによって、圧電膜を微細に加工できるとともに、十分なインク吐出力及び十分な圧電膜の信頼性が得られる。この場合、第1層は、50nm以上、100nm以下の厚さに形成されていることが好ましく、これによって、良質な第2層を形成することができ、圧電膜全体としての圧電定数を低下させることもない。

【0017】また、本発明に係る第1～第3のインクジェットヘッドにおいて、圧電振動部が振動板を備えることにより、圧電振動部を容易にたわみ振動させることができる。この場合、振動板が、Ni、Cr、Al及びそれらの酸化物、Si、Si酸化物、高分子有機物からなる群から選ばれた少なくとも1つの材料からなることが好ましい。

【0018】また、本発明に係る第1～第3のインクジェットヘッドにおいては、圧電振動部において、電極間にさらに、圧電膜と中間電極層を介して対向する、圧電膜とは別の圧電膜を設け、その2つの圧電膜によってたわみ振動をさせてもよい。このように2つの圧電膜でたわみ振動させると振動板を用いる場合に比較してより大きな振幅をえることができる。

【0019】また、本発明に係る第1と第3のインクジェットヘッドにおいては、圧電膜の第2層が、Nb及びSnを含む反強誘電性を有する圧電体であってもよい。

【0020】さらに、本発明に係る第1～第3のインクジェットヘッドにおいては、第1層を、Zr濃度が厚さ方向に連続的に増加するように分布している層とし、かつ第1層のZr濃度が高い一方の面で第2層と接するように構成してもよい。

【0021】また、本発明に係る第1～第3のインクジェットヘッドにおいては、圧電膜の両側に形成された電極層がPt又はAuで形成されていることが好ましい。これによって、例えばエッチングを用いて圧電膜を微細加工する場合に、エッチング液により電極にダメージを与えないようにできる。

【0022】また、本発明に係る第1～第3のインクジェットヘッドにおいては、本体部が複数のインク吐出口と各インク吐出口にそれぞれ対応して設けられた複数の圧力室を有し、圧電膜の両側に設けられた電極のうち少なくとも一方の電極を圧力室に対応するように分離して設けることにより、各圧力室に対応した圧電振動部を備えたインクジェットヘッドを構成できる。このような構成により、複数のインク吐出口が極めて高密度に形成されたインクジェットヘッドを作製できる。この場合、圧電膜を圧力室に対応するように分離して設け、一方の電極を分離された各圧電膜上に形成するようにしても、同様に吐出口が高密度に形成されたインクジェットヘッドを作製できる。このように、圧電膜を各圧力室に対応するように分離して形成する場合、各圧電膜の幅を圧力室の幅より小さくすることが好ましい。また、圧電膜を分離して形成する場合、分離された圧電膜の間に、圧電膜

の伸縮を阻害しない剛性の低い樹脂を充填してもよい。これによって、ヘッドの信頼性を高くできる。

【0023】また、本発明に係る第1～第3のインクジェットヘッドにおいて、圧電振動部は、その周辺部が圧力室の周辺部と弾性を有しかつ膜厚が $3\mu\text{m}$ 以下の樹脂層を介して接合するようにしてもよく、これによって、接合時に圧電振動部に歪み加わること防止でき、製造時の歩留まりを高くできかつ信頼性を高くできる。

【0024】圧電振動部は、その周辺部が圧力室の周辺部と、セラミック、金属又は樹脂からなる台座を介して接合されていることが好ましく、これによって、接合部を圧電振動部から離すことができるので、圧電振動部を安定して振動させることができる。

【0025】また、本発明に係るインクジェットヘッドの製造方法は、インク吐出口とインク吐出口に接続されかつ一部に開口部が形成された圧力室とを有する本体部と、開口部を塞ぐように設けられた圧電振動部とを備えたインクジェットヘッドの製造方法であって、基板上に、Pb及びTiを含むペロブスカイト構造を有する第1層を形成し、第1層上にZrとPb及びTiとを含むペロブスカイト構造を有する第2層を形成することにより、第1層と第2層とを含む圧電膜を形成する工程とを含み、基板上に圧電膜を有する圧電振動部を形成する第1工程と、本体部の開口部の周辺部と圧電振動部の周辺部とを対向させて接合する第2工程と、接合後に基板を除去する第3工程とを含み、第1工程において、第1層をZrを含まないように、又は第2層に比較してZrの量が少なくなるように形成することを特徴とする。

【0026】本製造方法により、Zrを比較的多く含んでいる第2層を良質でかつ薄くしかも大きな圧電定数を有するように形成することができる。これによって、本発明の製造方法によれば、極めて小型で軽量のインクジェットヘッドを製造できる。

【0027】本発明に係る製造方法では、第1層及び第2層を精度よくかつ良質に形成するためにスパッタ法又はCVD法により形成することが好ましい。

【0028】本発明に係る製造方法では、基板としてMgO基板を用いることにより、単結晶の第1層及び第2層を形成することができる。また、この場合、第3工程において基板を磷酸を用いたエッチングにより除去することができる。

【0029】本発明に係る製造方法では、基板としてシリコン基板又はガラス基板を用いることもでき、これにより、MgO基板を用いる場合に比較して安価に製造できる。この場合、第3工程において、基板をフッ酸系溶液又は水酸化カリウム溶液を用いてエッチングにより除去することができる。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る実施の形態について図面を参照して説明する。

【0031】（実施の形態1）本発明に係る実施の形態1のインクジェットヘッド100は、従来困難であったスパッタリング等のいわゆる薄膜形成方法を用いて形成された、薄くてかつ大きな圧電定数を有する圧電膜を用いて構成され、従来例のインクジェットヘッドに比較して極めて小型でかつインクの吐出口の間隔を狭く形成することができるという特徴を有する。

【0032】図1(a)は、本発明にかかる実施の形態1のインクジェットヘッド100の斜視図であり、図1(b)は、図1(a)のA-A'線についての断面図である。

【0033】このインクジェットヘッド100は、図1(a)(b)に示すように、複数の吐出口2と、各吐出口2に対応して設けられた圧力室1と、圧力室1にそれぞれ設けられた圧電素子3とを備えて以下のように構成される。

【0034】インクジェットヘッド100において、吐出口2は本体部50の側面に所定の間隔で形成され、圧力室1は、吐出口2にそれぞれ対応するように本体部50に並んで形成されている。そして各吐出口2と対応する圧力室1とは、本体部50に形成されたインク流路2aを介して接続される。また、本体部50の上面には各圧力室1にそれぞれ対応して開口部51が形成され、さらに本体部50の上面には開口部51を塞ぐように振動板4が形成され、振動板4の上に各圧力室1に対応して各開口部51上に位置するように圧電素子3が設けられる。

【0035】また、圧電素子3は、図2に示すように、それぞれ $0.1\mu\text{m}$ の厚さを有する白金から成る電極6および7と、電極6、7の間に形成された $3\mu\text{m}$ の厚さの圧電膜5からなり、振動板4上に設けられる。ここで、振動板4は、振動部分の厚みが $2\mu\text{m}$ の SiO_2 層からなる。以上のようにして、圧電素子3と圧電板4とによって圧電振動部30が形成される。

【0036】圧電膜5の材料として、鉛、チタン、ジルコニウムから構成された酸化物であるペロブスカイト型PZT薄膜材料を用いることにより、低電圧でも良好な振動をさせることができる。尚、本明細書において、単にPZTというときは、Pb、Zr及びTiを含む、一般式 $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ で表される圧電材料を言うものとする。このPZT薄膜の組成は、 $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$ の場合に最大の圧電性を示すことが焼結体では明らかにされている。しかしながら、この組成の薄膜を直接電極上に形成することは容易ではない。

【0037】そこで、実施の形態1では、図3に示すように、圧電膜5を2層で構成し、第1層8としてZrの含有していない PbTiO_3 又は PbTiO_3 にランタンを添加したPLTを形成し、第2層9として $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$ の組成の層を形成することにより、良好な圧電特性を有する高品質圧電薄膜（圧電膜5）を

形成した。すなわち、本発明は、第1層としてZrの含有していないPbTiO₃又はPbTiO₃にランタンを添加したPLTを形成し、第2層としてPb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O₃の組成の層を形成することにより、良好な圧電特性を有する高品質圧電薄膜を形成することができるを見いだして完成させたものである。

【0038】以下、2層からなる圧電膜5についてさらに詳細に説明する。上述のように、PZTは、良好な圧電特性を有し、かつZr/Tiの比率が約50/50になると極めて高い圧電係数を有することが知られている。しかしながら、PZTはスパッタ法やCVD法等の薄膜形成方法を用いて良好な膜を形成する事が困難であり、Tiに対するZrの比率が大きくなる程その傾向は顕著である。我々の検討によると、その原因は、薄膜形成過程において、Zrの酸化物が基板表面に吸着し、その後の膜成長を阻害するためであることが明らかになった。また、その傾向は、Pt電極上にPZT膜を成長させようとした場合にさらに顕著であることも明らかになった。しかしながら、PbTiO₃又はPbTiO₃にLaを10mol%程度添加し結晶化温度を低下させた(Pb,La)TiO₃(以下、単にPLTという。)上に、薄膜形成方法を用いてPZTを成長させると、Zr酸化物を析出させることなく、良好なPZT膜を作成することができる。また、PbTiO₃及びPLTは、PZTと同様ペロブスカイト構造を有し、薄膜形成方法を用いてPt電極上にも比較的容易に形成することができる膜である。この第1層としては、基本的な条件としてペロブスカイト型構造を有していることが必要で、PbTiO₃、PLT以外にもSrTiO₃、BaTiO₃及びSrRuO₃等も効果があることが我々の検討により実証されている。また、この第1層はPZTと同様RFスパッタリング装置を用いて形成でき、多元ターゲットを装着できるスパッタ装置を用いることにより、第1層8と第2層9の形成を一連の工程で進めることができる。

【0039】尚、本発明では、この様な多層構造とせず、Znを含まないPbTiO₃からPb(Zr_{0.5}Ti_{0.5})O₃付近の組成へと連続的に変化させた組成傾斜を有する第1層を用いて圧電膜5を用いても同様の効果が得られる。

【0040】以下、実施の形態1のインクジェットヘッドの製造方法について図5(a)を参照しながら説明する。

【0041】本製造方法ではまず、2cm角の(100)面を上面として有する単結晶MgO基板10の上面に、単結晶のPt電極膜を配向させて0.1μmの厚さに形成する(図5(a)のステップS1)。

【0042】次に、Pt電極膜を各圧力室に対応するようにドライエッチング(真空中でArイオンによる)を用いてパターンニングして個別の電極11に分経する

(図5(a)のステップS2及び図4)。

【0043】次に、PbTiO₃からなる初期層(第1層)を約0.01μmの厚さに形成する(図5(a)のステップS3)。

【0044】そして、初期層上にPZT薄膜をスパッタリングにより約3μmの厚さに形成する(図5(a)のステップS4)。

【0045】尚、このステップS3、4において、基板温度は500から600℃の温度に設定して膜を成長させる。

【0046】このように、本製造方法においては、PZT薄膜を形成する前に、PbTiO₃からなる初期層を形成しているため、組成の偏りの少ない結晶性に優れた、c軸に配向した単結晶のPZT薄膜を形成することができる。尚、PZTは、c軸方向に最も高い圧電係数を有する。

【0047】次に、PZT薄膜(初期層を含む)を強酸性溶液を用いたエッチングによりパターンニングして、各圧力室に対応するように個別の圧電膜12に分経する(図5(a)のステップS5及び図4)。

【0048】次に、各圧電膜12上に共通電極13を形成する(図5(a)のステップS6及び図4)。尚、共通電極は図4に示すように、各圧電膜12毎に個別の電極としてもよいし、複数の圧電膜12にわたって連続した電極としてもよい。

【0049】次に、共通電極13上にSiO₂を2μmの厚さに形成することにより振動板4を形成する(図5(a)のステップS7)。尚、図4には図示していないが、振動板4を形成する前に、圧電膜12の両側に樹脂を埋め込み振動板4を形成する表面を平坦にして振動板4を形成する。

【0050】MgO基板上に上述の各層を形成した後、予め圧力室、インク流路が形成されたステンレスからなる本体部を接着剤を用いて接合する。これによって、圧力室、インク流路が、振動板上に形成される(図5(a)のステップS8)。尚、ここで使用する接着剤は、圧電振動を吸収することがないように、比較的硬度が高い方が好ましい。

【0051】次に、MgO基板を、最終的に酸性溶液により除去する(図5(a)のステップS9)。MgO基板10は、この酸性溶液として燐酸溶液を用いることで圧電膜にダメージを与えることなく安定して溶解することができる。

【0052】さらに、例えば10μm径の吐出口を所定の間隔で形成した部材を本体部の側面に取り付けて、実施の形態1のインクジェットヘッドは作成される。

【0053】尚、図5(a)を参照して説明した製造方法では、圧電膜及び個別電極11は、共通電極13を形成する前にパターンニングしたが、本発明はこれに限らず、図5(b)に示すように共通電極13を形成しMg

○基板10をエッチング後に、圧電膜及びPt個別電極をパターンニングするようにしてもよい。

【0054】以上説明した製造方法によれば圧電特性の良い薄い圧電膜を形成することができ、その薄い圧電膜を半導体の製造に用いられる微細加工技術を応用することで極めて小さい圧力室に対応した圧電素子を形成することができるので、高い密度で吐出口が形成されたインクジェットヘッドを作製することができる。

【0055】例えば、150dpiの密度のノズルヘッドを作製しようとする、通常圧力室の幅が100 μ mで隣接する圧力室間の隔壁が66 μ m程度に設定されるが、PZT薄膜の膜厚を5 μ m以下にすると、PZT薄膜を50 μ m以下の幅に加工することが十分可能であるから、圧電膜の形状を100 μ m幅の圧力室に対応する大きさに加工することが十分可能である。尚、20 μ m以上の厚さの従来の圧電膜では、50 μ m幅の圧電膜に加工することは困難である。本実施の形態1において、圧電膜を20 μ m以下の幅に加工することも可能であるから、圧電膜の加工可能な形状をもとに考えると、500dpi又はそれ以上の密度を有するノズルヘッドを作製することも可能である。図6は、この方法で製作した、吐出口（ノズル）が200dpiの密度で形成されたノズルヘッドを正面から見た図である。また、圧力室の幅を狭くできることで、その圧力室の共振周波数を高くでき、その分高い周波数で駆動することができるという利点もある。また、この高い周波数で駆動できることは、印加電圧に対する応答を早くできることを意味し、インクの吐き出し量の細かな制御が可能であることを意味し、これによって、階調を向上させることができる。尚、圧力室の幅を100 μ m（すなわち、150dpi）とすると共振周波数は約1MHzである。

【0056】さらに、インクの吐出性能は、一般にたわみ量Yと発生圧力Pの積で表され、この値は圧電膜の膜厚をt、圧電定数をd31、電圧をVとすると、次の式（1）で表されるので、膜厚が薄いと印加電圧を低くできるという利点も有する。

【0057】

$$Y \cdot P = k \cdot d31^2 \cdot V^2 / t \cdots \cdots \text{式(1)}$$

以上の方法に従って、Zr/Ti比が50/50のPZT薄膜を、各圧力室1に対応して幅10 μ m、長さ1mmの大きさにパターンニングした試料を用いて、印加電圧と振動板4の最大たわみ量の関係を測定した。その結果を図7に示す。図7より印加電圧を増加すると振動板がたわみ30Vの電圧に対して約2 μ mの変位を発生させることができることがわかる。この良好な圧電特性を利用して、インク吐出能力の高いインクジェットヘッドを作製できることが確認できた。

【0058】以上説明したように、実施の形態1のインクジェットヘッドは、圧電膜5を、Zrを含まないペロブスカイト型の第1層と、Zrを含むPZTからなる第

2層とによって構成された、圧電特性の優れた薄い圧電膜を加工することによって形成している。これによって、圧電特性の優れた微細な圧電膜5を形成することができるので、従来例のインクジェットヘッドに比較して極めて小型でかつ高密度に形成されたインクの吐出口を備えたインクジェットヘッドを提供できる。

【0059】以上の説明において、適宜、具体的な材料及び数字を挙げて説明したが、本発明は上述した数字に限定されるものではない。

【0060】圧電膜における第1層（初期層）について言えば、上述したようにこの第1層8は、結晶性の良好な第2層9を形成するための層であり、圧電性を有する膜としての機能は専ら第2層9が担っている。従って、第1層8の膜厚は、良好な第2層を形成するという機能を果たすかぎり、圧電膜5の全体としての圧電特性を低下させないように、薄ければ薄い程よい。我々は、膜厚制御性のよいスパッタリング装置を用いた場合、第1層8は5nm以下であっても、その機能を十分発揮できることを確認している。しかしながら、Pt電極をムラ無く覆い、かつ製造工程上の管理等を考慮すると、50nm～100nmの範囲に設定することが好ましい。この範囲に設定すると、圧電膜5の全体としての圧電特性を実質的に低下させないようにでき、かつ良質の第2層を形成するという効果を十分果たすことができ、しかも圧電膜5を形成する工程における工程管理負担を増加させることも少なくできる。尚、実施の形態1では、第1層8として膜厚0.1 μ mのPbTiO₃層、第2層9として膜厚2.9 μ mのPb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O₃の組成を有するPZT層とすることにより、低電圧においても十分なインク吐出能力を有するインクジェットヘッドを作製できることが確認されている。

【0061】また、本発明において、PZTで構成される第2層9の膜厚は特に限定されるものではないが、薄膜形成方法を用いて形成する場合、膜厚が厚くなると膜の形成時間が長くなるので、10 μ m以下に設定することが好ましい。また、圧電膜5は、成膜後に各圧力室にそれぞれ対応する所定の形状にパターンニングされるが、吐出口2の間隔を今後ますます狭くする必要が生じることを考慮すると、それに対応した精度のよいパターンニングをするためには、圧電膜5の膜厚は5 μ m以下に設定することがさらに好ましい。また、圧電膜5の膜厚は、膜の強度や発生させる応力を考慮すると0.5 μ m以上に設定することが好ましい。我々の検討によると、圧電膜5の膜厚を、1～3 μ mの範囲に設定することが最も好ましく、この範囲に設定することにより、インクを安定して飛翔させ、かつ膜の信頼性を一定以上に保つことができることが確認されている。

【0062】実施の形態1において、本体部50は、ステンレス（SUS）を用いて形成したが、本発明はこれに限られず、感光性有機高分子材料、感光性ガラスおよ

びシリコンなどにより構成してもよい。

【0063】また、振動板4はスパッタ法などの薄膜プロセスを用いることにより微細加工が容易となる。その材料として、実施の形態1では、酸化シリコン SiO_2 を用いたが、本発明はこれに限らず、ニッケル、クロム、アルミニウムなどの金属を用いることができる。これらの金属もスパッタ法、真空蒸着およびメッキ法により容易に形成することができ、 SiO_2 と同様良好な振動特性を得ることができた。また、振動板4にアルミナを用いても SiO_2 と同様の効果を得ることができ、スパッタリング法により容易に形成できた。この他、振動板4としてポリイミド系の樹脂を用いることもでき、このポリイミド系の樹脂はスピンコート法により容易に形成でき、またその微細加工も容易であり、インクジェット記録装置の振動板として適した材料であった。

【0064】以上の各材料を用いて振動板4を形成しても、振動中に亀裂が生じるなどの劣化はなく、インクを吐出するのに十分な振動を発生することができる。また、振動板4の材料として各金属の酸化物を用いても同様の振動特性を得ることができる。さらに、振動板4としては、感光性ポリイミドを用いることにより素子の製造を容易にできる。

【0065】以上のような構成において、圧力室1に面する振動板4を厚みが $2\mu\text{m}$ の SiO_2 層とし、圧電膜5の第2層9として $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3$ の組成式で示される厚み $3\mu\text{m}$ のPZT薄膜、厚み $0.1\mu\text{m}$ の白金から成る電極6および7を用いた場合、 50V 以下の電圧においても良好なたわみ振動を発生させることができた。しかしながら、本発明では、振動板4の厚さは、上述の $2\mu\text{m}$ に限られるものではなく、圧電膜5の圧電特性及び厚さ、振動板4を構成する材料の固有の振動特性等を考慮して適宜設定されるものである。

【0066】また、本発明では、 MgO 基板10上の電極11として白金、金もしくはルテニウム酸化物を用いることにより、ペロブスカイト構造を有する鉛系誘電体層からなる圧電膜5、12を結晶性よく形成することができた。いずれの材料からなる電極上に形成された圧電膜5、12を用いても、特性バラツキが少ない複数の圧電膜5、12を形成することができ、インク吐出能力の素子間のばらつきを少なくすることができる。

【0067】また、PZT薄膜の微細加工では弗酸や硝酸など強酸性の溶液を用いて行うが、電極として白金、金又はルテニウム酸化物を用いることにより電極材料が腐食することを防止し、素子の作成を安定に行うことができる。また、圧電膜5、12を構成する第2層の圧電材料として用いたPZTは、良好な圧電特性を有する Zr/Ti 比が $30/70\sim 70/30$ の範囲内にあるPZT層を用いることが好ましい。また、本発明において、第2層として用いることができる圧電材料としては、上述のPZTのほか、例えば、 $\text{Pb}_{0.99}\text{Nb}$

$0.02[(\text{Zr}_{0.6}\text{Sn}_{0.4})_{1-y}\text{Ti}_y]_{0.98}\text{O}_3$ ($0.060\leq y\leq 0.065$)等の組成を有する、 Pb 、 Ti 、 Zr 以外の元素を含む圧電材料を用いることができる。尚、 $\text{Pb}_{0.99}\text{Nb}_{0.02}[(\text{Zr}_{0.6}\text{Sn}_{0.4})_{1-y}\text{Ti}_y]_{0.98}\text{O}_3$ ($0.060\leq y\leq 0.065$)は、反強誘電体の材料であるが差し支えない。この場合について、印加電圧と振動板4の最大変位との関係を図8に示す。この場合、 15V の電圧で、反強誘電体から強誘電体への相転移が起こるため不連続な変位特性を示し、 20V で約 $0.8\mu\text{m}$ の変位が発生した。 20V 以上のある電圧以上を印加した場合ほぼ一定の変位を発生させることができ、インク吐出量のばらつきを少なくする事ができた。更に $\text{Pb}_{0.99}\text{Nb}_{0.02}[(\text{Zr}_{0.6}\text{Sn}_{0.4})_{1-y}\text{Ti}_y]_{0.98}\text{O}_3$ ($0.060\leq y\leq 0.065$)の組成を有する反強誘電体薄膜では、多結晶質の薄膜でも安定なインク吐出能力を有する圧電素子とすることができた。

【0068】また、実施の形態1では、第1層8として Zr の含有していない PbTiO_3 又は PbTiO_3 にランタンを添加したPLTを形成し、第2層9として $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$ の組成の層を形成するした例を最も好ましい例として示したが、本発明はこれに限定されるものではない。圧電膜5、12を構成する第1層(初期層)の圧電材料として、 $x<0.3$ に設定された $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ からなるPZT層又はその層にさらに La を含む層を用い、第2層として $0.7\geq x\geq 0.3$ に設定された $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ からなるPZT層を用いて形成しても、結晶性が良好でかつ圧電定数の比較的大きい第2層を形成することができる。尚、この場合、第1層として、 $x<0.2$ に設定された $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ からなるPZT層又はその層にさらに La を含む層を用いることが好ましい。

【0069】(実施の形態2)図9、10は、本発明に係る実施の形態2のインクジェットヘッドの製造方法を説明する図である。この実施の形態2の製造方法は、実施の形態1で説明した製造方法において、 MgO 基板に代えて Si 基板を用いた他は実施の形態1とほぼ同様である。

【0070】本製造方法では、まず、図9、10に示すように、シリコン基板15上に個別電極11となるPt層を形成し、その個別電極11の上に圧電材料として鉛系誘電体層からなる圧電膜12をスパッタ法により形成した。ここで、鉛系誘電体層からなる圧電膜12は、実施の形態1と同様、 Zr を含まない鉛系誘電体からなる第1層を形成した後、 Zr を含むPZTからなる第2層を形成することにより形成される。以上のように構成された圧電膜12は、多結晶体であるが、第1層として Zr を含まない鉛系誘電体からなる第1層を形成した後、 Zr を含むPZTからなる第2層を形成しているため、極めて良好な圧電特性を有する第2層を形成することができる。この圧電膜12として、PZT系の多結晶層を

3 μ m形成することにより、良好な圧電性を得ることができた。圧電膜12の形成法として、上述のスパッタ法に代えて、MOCVDもしくはゾルゲル溶液を用いたスピンコートにおいても良好な結晶性を有する圧電性薄膜を形成することができた。次にその圧電膜12の上に共通電極13となるPt層を形成する。尚、ゾルゲル溶液を用いたスピンコート法を用いる場合、まず、第1層となるZrを含まないゾルゲル溶液をコートし、その上に第2層となるZrを含むゾルゲル溶液を所定の厚さにコートした後、焼成することにより圧電膜12を形成する。以上のようにしてスパッタ法と同様、多結晶層である圧電膜12を形成することができる。

【0071】その共通電極13の上にSiO₂からなる材料で振動板4をスパッタ法により形成した。次に振動板4の上に、感光性樹脂により形成した圧力室1を有する本体部を設けた後、最後にシリコン基板15を弗酸系溶液、もしくは水酸化カリウム溶液でエッチング除去する。圧力室1は、本体部において、感光性ガラスもしくは感光性樹脂などにより各吐出口に対応するように分割して形成されている。図10において、個別電極11は圧電膜12の形成前にパターンニングしているが、シリコン基板15をエッチングした後にパターンニングするようにしてもよい。また圧電膜12は、図10において、共通電極13を形成する前にパターンニングしているが、シリコン基板15をエッチング除去した後に、各圧力室1に分割された形状となるようにパターンニングしてもよい。本実施の形態に示した製造方法によれば、MgO基板10より安価に、かつ大きな面積を有した単結晶基板が入手しやすいシリコン基板15を用いることができ、インクジェット用圧電素子を一度に多数形成することが可能で、更に圧電特性の良い薄膜材料を形成することができる。またこれまで確立されてきたシリコンの微細加工技術を応用し非常に高精度な微細加工から作り出される多素子化も容易となる。上記の方法で製作したインクジェットのヘッドは、図6と同様の構成が可能でノズルが200dpiの密度にできた。またさらに、高密度のノズルを有するインクジェットヘッドを作製することも可能である。この構成のインクジェットヘッドの製造において、シリコン基板15を用いる他、ガラス基板を用いても同様の多素子構成のインクジェットヘッドが作製できる。この場合弗酸系の溶液を用いてガラス基板をエッチングする事により、図6と同様の構成を有する多素子化したインクジェットヘッドを形成することができた。

【0072】上の個別電極11として白金以外に、ルテニウム酸化物を用いることにより、ペロブスカイト構造を有する圧電膜12を結晶性よく形成することができた。このため圧電膜として良好な特性を有することができ、多素子化した場合でもインク吐出能力の素子間のばらつきの少ないインクジェットヘッドが作成できた。ま

た圧電材料として用いる圧電膜12としては、Zr/Ti比が30/70~70/30の範囲内にあるPZT層であれば、更に良好な圧電特性を有し、インク吐出能力の高いインクジェットヘッドとすることができた。また、圧電膜12としてPb_{0.99}Nb_{0.02}[(Zr_{0.6}Sn_{0.4})_{1-y}Ti_y]_{0.98}O₃ (0.060 \leq y \leq 0.065)の組成を有する反強誘電体の薄膜を用いた場合、電圧印加に対して安定した応答が得ることができ、インク吐出量のばらつきを少なくする事ができた。

【0073】更に振動板4の材料として、酸化シリコンSiO₂の他、ニッケル、アルミニウムなどの金属もスパッタリング、真空蒸着およびメッキ法により容易に形成することができ、SiO₂と同様良好な振動特性を得ることができた。またアルミナ等の酸化物でもSiO₂と同様の効果を得ることができ、スパッタリング法により容易に形成できた。この他、ポリイミド系の樹脂などの高分子有機物はスピンコート法により容易に形成でき、またその加工も容易であり、インクジェットヘッドの振動板として適した材料であった。

【0074】(実施の形態3)図11、12は、本発明に係る実施の形態3のインクジェットヘッドの製造方法を説明する図である。

【0075】本製造方法では、まず、図11、12に示すように、シリコン基板15上に膜厚2 μ mのSiO₂からなる振動板4をスパッタ法、もしくはシリコン基板を熱酸化することにより形成する。更にその上に共通電極13となるPt層を形成する。共通電極13の上に鉛系誘電体からなる圧電膜12をrfスパッタ法により形成した。ここで、圧電膜12は、実施の形態1と同様、Zrを含まない鉛系誘電体からなる第1層を形成した後、Zrを含むPZTからなる第2層を形成することにより形成される。以上のように構成された圧電膜12は、多結晶であるが、第1層としてZrを含まない鉛系誘電体からなる第1層を形成した後、Zrを含むPZTからなる第2層を形成しているため、極めて良好な圧電特性を有する第2層を形成することができる。この圧電膜12としては、厚みが3 μ mのPZT系の多結晶層を形成することにより優れた圧電特性を得ることができた。圧電膜12の形成法としてMOCVDもしくはゾルゲル溶液を用いたスピンコートにおいても良好な結晶性を有する圧電性薄膜を形成することができた。次にその圧電膜12の上に個別電極11となるPt層を形成する。この個別電極11はイオンエッチングによって微細加工し、各圧力室1に対応した箇所に分離した形状となるようにした。なお、振動板4が絶縁物である場合、個別電極11を振動板4上に形成し、共通電極13を圧電膜12上に形成しても良い。

【0076】次にシリコン基板15を弗酸系溶液、もしくは水酸化カリウム溶液で部分的にエッチング除去し、シリコン基板15の一部を圧力室1の構造部材として用

いた。圧電膜12は、共通電極13を形成する前に、各圧力室1に対応し分割された形状となるようにパターンニングした。この方法では圧力室1の形成を圧電素子を形成する基板の一部を用いて作製するため、工程が簡略化でき、かつシリコンの微細加工技術を用いることにより微細な素子化も可能になる。上記の方法で製作したインクジェットのヘッドは、図6と同様の構成が可能でノズルを200dpi以上の密度に形成できた。この構成のインクジェットヘッドの製造において、シリコン基板15を用いる他、更に安価なガラス基板を用いても同様の多素子構成のインクジェットヘッドが作製できた。この場合弗酸系の溶液を用いてガラス基板13をエッチングする事により、図6と同様の構成を有する多素子化したインクジェットヘッドを形成することができた。

【0077】上の個別電極11として白金以外に、ルテニウム酸化物を用いることにより、ペロブスカイト構造を有する圧電膜12を結晶性よく形成することができた。このため圧電膜として良好な特性を有することができ、多素子化した場合でもインク吐出能力の素子間のばらつきの少ないインクジェットヘッドが作成できた。また圧電材料として用いる圧電膜12としては、 Zr/Ti 比が30/70~70/30の範囲内にあるPZT層であれば、更に良好な圧電特性を有し、インク吐出能力の高いインクジェットヘッドとすることができた。また、圧電膜12として $Pb_{0.99}Nb_{0.02}[(Zr_{0.6}Sn_{0.4})_{1-y}Ti_y]_{0.98}O_3$ ($0.060 \leq y \leq 0.065$) の組成を有する反強誘電体の薄膜を用いた場合、電圧印加に対して安定した応答が得ることができ、インク吐出量のばらつきを少なくする事ができた。また $Pb_{0.99}Nb_{0.02}[(Zr_{0.6}Sn_{0.4})_{1-y}Ti_y]_{0.98}O_3$ ($0.060 \leq y \leq 0.065$) の組成を有する反強誘電体薄膜では、多結晶質の薄膜でも安定なインク吐出能力を有する圧電素子とすることができた。

【0078】更に振動板4の材料として、酸化シリコン SiO_2 の他、ニッケル、アルミニウムなどの金属もスパッタリング、真空蒸着およびメッキ法により容易に形成することができ、 SiO_2 と同様良好な振動特性を得ることができた。またアルミナでも SiO_2 と同様の効果を得ることができ、スパッタリング法により容易に形成できた。この他、ポリイミド系の樹脂はスピコート法により容易に形成でき、またその加工も容易であり、インクジェットヘッドの振動板として適した材料であった。

【0079】(実施の形態4) 図13(a)は、本発明にかかる実施の形態4のインクジェットヘッド200の斜視図であり、図13(b)は、(a)のC-C'線についての断面図である。また、図14は、図13(a)のD-D'線についての断面図である。

【0080】このインクジェットヘッド200は、複数の吐出口202と、各吐出口202に対応して設けられ

た圧力室201とが形成された本体部250と、本体部250の上面に設けられた振動板204と、振動板204上に設けられた圧電素子203とを備えて以下のように構成される。

【0081】本体部250において、吐出口202は本体部250の下面に所定の間隔で形成され、圧力室201は、吐出口202にそれぞれ対応するように本体部250に並んで形成されている。そして各吐出口202と対応する圧力室201とは、本体部250に形成されたインク流路202aを介して接続されている。尚、本体部250は、樹脂、ガラス、ステンレス、セラミック及びシリコン等、剛性の高い素材を用いて構成されている。

【0082】圧電素子203は、図14に示すように、振動板204上に形成された共通電極208と、共通電極208上に各圧力室201に対応して所定の間隔で形成された圧電体205と、各圧電体205上にそれぞれ設けられた個別電極209とを備え、隣接する圧電体5の間にポリイミド樹脂からなる充填材が埋め込まれて構成される。ここで、圧電体205は、実施の形態1と同様、第1層としてZrの含有していない $PbTiO_3$ 又は $PbTiO_3$ にランタンを添加したPLTを形成し、第2層9として $Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$ の組成の層を約3 μm の厚さに形成した。これによって、実施の形態1と同様、良好な圧電特性を有する圧電体205が形成される。

【0083】振動板204は、スパッタ法を用いて形成した2 μm の厚さのアルミナ層からなり、共通電極208及び個別電極209は、いずれも0.1 μm のPt層で構成した。振動板204の素材としては、アルミナの他、Ni、Cr、Ti、Al、Zrを使用することができ、いずれの材料を用いても、圧電体205及び電極材料との密着性及び振動特性において優れている。また、本発明では、Ni、Cr、Ti、Al、Zrの酸化物、さらにシリコン酸化物及び樹脂材料を用いることができる。また、振動板204の厚さは、良好なインク吐出し性能を得るためには圧電体205と同等又はそれ以下の厚さであることが好ましい。

【0084】圧電体205は、圧電体205の幅が対応する圧力室の幅より狭くなるように形成することが好ましい。しかしながら、本発明はこれに限定されるものではなく、分離されていない1つの圧電膜を用い、個別電極209を各圧力室201に対応させて形成することにより、圧電体層のうち各圧力室に対応する部分のみを振動させるようにしてインクを吐き出させるようにしてもよい。

【0085】また、隣接する圧電体205の間に埋め込まれる充填材210は、上述のポリイミド樹脂に限定されるものではなく、比較的剛性の低い材料であれば使用することができる。このように充填材として、比較的剛

性の低い材料を用いることにより、圧電体205の横方向の伸縮を阻害することなく圧電体を振動させることができるので、振動特性を劣化させることがない。

【0086】例えば、圧力室201の幅を $70\mu\text{m}$ とし、圧電体205の幅を圧力室201の幅より若干狭くなるように形成したとき、 10V の電圧を印加することにより、最大 50nm 変化させることができた。

【0087】以上のように、実施の形態4においては、実施の形態1と同様、圧電体205を第1層と第2層との2重構造としてスパッタリング等の薄膜形成方法を用いて作製しているので、極めて緻密で結晶性のよい圧電体205を形成することができ、比較的簡単な構成で良好な振動特性を得ることができた。これは、圧電体205として結晶性のよい圧電膜が形成できるので、通常の焼結体では絶縁破壊を起こすような高い電圧を印加して駆動することができるようになったことによるものである。また、実施の形態1と同様、圧電体205を極めて薄くすることができるので、微細化が容易で、 200dpi のノズル密度を有するヘッドが容易に作製できるようになった。

【0088】圧電体205の形成方法は、上述のスピンコートその他、CVD法等の他の薄膜形成方法を用いてもよい。

【0089】また、この圧電体205の厚さは、 $10\mu\text{m}$ 以上になると、微細加工が困難となるので、圧電体205の厚さは、 $10\mu\text{m}$ 以下に設定することが好ましい。

【0090】実施の形態4において、この圧電体205は、実施の形態1又は実施の形態2と同様、 MgO 基板又は Si 基板を用いて形成したものが用いられる。

【0091】すなわち、基板として、(100)面が表面に表れるように劈開された単結晶 MgO 基板を用い、 MgO 基板の(100)面上に、 Zr を含まない初期層を形成した後、その初期層上に一般式 $(\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x)(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3$ で表される圧電体を形成することにより、 c 軸に配向した圧電体を形成することができる。このように一般式 $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3$ で表される圧電体に、 La を添加することにより、結晶化温度を下げることができ、薄膜圧電体の圧電性を向上させることができる。さらに、このようにして形成された単結晶の $(\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x)(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3$ は、同組成の多結晶に比較して1.5倍の圧電定数を得ることができる。また、圧電体205を形成する方法としては、スパッタ法もしくはCVD法を用いることにより、結晶性のよい単結晶の膜が、1時間に $1\mu\text{m}$ 以上の早い堆積速度で形成することができる。さらに、電極材料として白金もしくはルテニウム酸化物を用いることにより、良好な界面特性を維持しながら圧電膜を成長させることができる。また、白金又はルテニウム酸化物を電極として用いた場合、基板材料として MgO 以外に、微細加工が

容易であるシリコン又はガラス、もしくは剛性の高いステンレス材料を用いることも可能となり、ヘッド作製コストを下げることができる。

【0092】また、一般式 $(\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x)(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3$ で表される圧電膜を白金もしくはルテニウム酸化物の電極上に形成する場合、電極と接する部分の組成で、特に y を0.7以上に設定(Zr の割合を小さくする)することにより、電極上に Zr の酸化物等の不純物層の析出を押さえることができ、良好に結晶性を有する圧電体205を形成することができる。従って、電極のすぐ上に上述の Zr の少ない初期層を形成しその初期層の上に、 y が0.7以下に設定された、大きな圧電定数を有する圧電膜を数 μm 形成することにより、高い圧電定数を有する圧電体205を結晶性よく形成することができる。

【0093】また、本発明のインクジェットヘッドでは、上述のように薄い圧電体及び振動板を用いて構成されるので、圧力室が形成された本体部と振動板との接着には留意する必要がある。すなわち、本体部の隔壁と振動板とを接着剤で接合する場合、接着剤の硬化による収縮により薄い圧電体205に大きな応力がかかり、亀裂が発生したり剥離する場合がある。また、亀裂や剥離にまで至らない場合でも、安定した振動を妨げることになるからである。

【0094】そこで、本実施の形態4では、図16に示すように、膜厚が $2\mu\text{m}$ 程度の剛性の低い樹脂層212を介して本体部の隔壁207と振動板204を接合することが好ましい。この樹脂層212は、例えばポリイミドからなり、スピンコート法等を用いて形成することができる。尚、図16において、213の符号を付して示すものは、接着剤である。

【0095】以上のようにポリイミドからなる樹脂層212を設けることにより、接着剤213の収縮により、圧電体205に応力が加わるのを防止でき、圧電体205を安定して振動させることができると同時に破損等を防止することができた。また、このポリイミド樹脂により、インクが振動板に直接接することがなくなり、寿命を向上させることができる。尚、樹脂層212の厚さは、 $3\mu\text{m}$ 以下にすることが好ましく、 $3\mu\text{m}$ 以上の厚さにすると、振動板の振動を樹脂層が吸収して効果的にインクの吐き出し性能が劣化する。

【0096】また、インクの吐き出し性能を効果的に発揮させかつインクの吐き出し量や吐き出し速度のばらつきを押さえるために、樹脂層212及び接着剤213の量及び厚さを精度よく管理する必要がある。図17は、圧電振動部(圧電素子と振動板からなる)230における隔壁と接着される部分に $7\mu\text{m}$ の厚さのアルミナ層214を形成したものである。このアルミナ層214は、圧電振動部230上に $7\mu\text{m}$ の厚さの膜を形成した後、隔壁に対する部分を残して、酸によるウェットエッチン

グすることにより形成される。このように、アルミナ層214を介して隔壁207と圧電振動部230とを接合することにより、圧電振動部230のうち、圧力室201上に位置する部分のみに限って振動させることができる。尚、本発明では、アルミナ層214に代えて、各種金属酸化物からなるセラミック、エポキシ樹脂等の剛性の高い樹脂や、Cr等を用いてもよい。すなわち、圧電振動部230との密着性がよく、微細加工が可能な材料を用いることができる。

【0097】以上の圧電振動部では、圧電体205を1層で構成したが、本発明はこれに限らず、図15に示すように、圧電体205a及び圧電体205bの2層で構成してもよい。この場合、個別電極209を、圧電体205a上に形成された電極209aと圧電体205bの下に形成された電極209bとに分割して形成し、圧電体205aと圧電体205bとの間に、共通の接地電極である中間電極211を形成する。このように、圧電体205を圧電体205a、205bの2層で構成することにより、1層で構成した場合の2倍の変位を得ることができる。尚、圧電体205a、205bはそれぞれ、初期層（第1層）と第2層とからなる。また、このような構成にすると、圧電体205a、205bによってたわみ振動をするので、原理的には圧電体と共同して振動を発生する振動板204が不要となり、インクから圧電体を保護するための、例えば1 μ m程度の樹脂層を形成するだけでよい。言い換えると図15に示す構成では、振動板を備えることなく、圧電体205a、205bの2層を備えることで圧電振動部を構成している。

【0098】（実施の形態5）図18は、本発明に係る実施の形態5のインクジェットヘッドの構成を示す部分断面図であり、この実施の形態5のインクジェットヘッドは以下のような手順で作製される。

【0099】まず、単結晶のシリコン基板上に共通電極208となるPt層を形成し、その共通電極208上に実施の形態1と同様にして、各圧力室に対応する膜厚3 μ mの圧電体205及び個別電極209を形成する。そして、個別電極209上に振動板204aとなる膜厚2のアルミナ層を形成する。尚、隣接する圧電体205の間は、ポリイミド樹脂からなる埋め込み樹脂210により埋め込まれている。次に、シリコン基板を約0.1mmの厚さに研磨し、さらに研磨後のシリコン基板を各圧力室を隔てる隔壁に対応する部分（シリコン台座15）が残るように、例えばKOH水溶液等のアルカリ溶液によりエッチングする。そして、ステンレス、樹脂又はガラスからなる圧力室が形成された本体部の隔壁とシリコン台座15とを対向させて接着して、図18に示す実施の形態5のインクジェットヘッドが作製される。尚、本実施の形態5において、圧力室201の幅は、例えば、70 μ mに設定される。

【0100】以上のように、実施の形態5のインクジェットヘッドでは、シリコン基板を微細加工することにより、その一部を用いて圧力室を形成し、本体部との接着部を圧電体から離れるように構成しているため、接着部の影響による振動特性の劣化を実質的に無くすることができる。従って、実施の形態5のインクジェットヘッドでは、インクの吐き出し性能のばらつきを極めて小さくできる。また、本実施の形態において、圧電体205を形成する時に、 $(\text{Pb}_{0.95}\text{La}_{0.05})\text{TiO}_3$ からなる初期層を形成したところ、Ptからなる共通電極208上に、500 $^{\circ}\text{C}$ の低い基板温度で、結晶性のよい初期層を形成することができることが確認された。このように低い温度で初期層が形成できることは、実用上極めて有益である。

【0101】また、実施の形態5では、基板としてシリコン基板の代わりに石英ガラスを用いることができ、この石英ガラスを用いると、基板の微細加工にフッ酸によるエッチングを用いることができるので、さらに安価にヘッドを作製することができる。また、基板として（100）面に配向させたMgO基板を用いることにより、実施の形態1で説明したように、Pt電極上に初期層を介してc軸に配向した $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$ からなる圧電体205を形成することができるので、同様の組成の多結晶薄膜からなる圧電体の約1.5倍の圧電定数を得ることができる。また、MgO基板を用いた場合も同様に、基板を約0.1mmの厚さに研磨もしくはエッチングした後、図18に示すように加工し、その部分を本体部の隔壁と接合することができる。

【0102】（実施の形態6）図19は、実施の形態6のインクジェットヘッドの構成を示す斜視図である。この実施の形態6のインクジェットヘッドは、4つのステンレス板351、352、353、354を積層して構成した本体部350と、本体部350に形成された圧力室301を塞ぐように設けられた圧電振動部（圧電素子303及び振動板304からなる）とからなる。なお、本体部350において、インク吐出口302は、図19に示すようにステンレス板354の下面に幅方向に並置して設けられ、隔壁（図示せず）で分離されたインク室301はそれぞれ、各インク吐出口302に対応して設けられている。圧電素子303は、共通電極（図示せず）と圧電膜305と個別電極309とからなり、個別電極309がそれぞれ、各圧力室301の直上に形成されて、各圧力室301に対応する個別の圧電素子が構成される。ここで、圧電膜305は、実施の形態1～5と同様に構成される。

【0103】以上の実施の形態6では、ステンレス板351～354を用いて本体部350を形成したが、本発明はこれに限らず、ガラス板を積層して本体部を構成するようにしてもよい。また、図19に示す構造の本体部を樹脂を用いて形成してもよい。

【0104】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、スパッタ法及びCVD法等の薄膜形成方法を用いて、従来例に比較して薄くかつ大きい圧電定数を有する圧電膜を形成することができるので、圧電膜の微細加工が可能となり、高密度にインク吐出口が形成され、かつ高速応答が可能なインクジェット記録装置用の小型のヘッドが提供できる。従って、この小型で高密度に吐出口が形成されたインクジェットヘッドを使用することにより、高解像度で高速印字が可能なインクジェット記録装置を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)実施の形態1のインクジェットヘッドの構成を示す斜視図

(b) (a)のA-A'線についての断面図

【図2】実施の形態1のインクジェットヘッドにおける圧電振動部を拡大して示す部分断面図

【図3】実施の形態1のインクジェットヘッドにおける圧電膜5を拡大して示す部分断面図

【図4】実施の形態1のインクジェットヘッドの製造方法において、MgO基板10上に圧電振動部を形成した時の断面図

【図5】(a)実施の形態1のインクジェットヘッドにおける一例の製造方法の主要工程を示す工程図

(b) (a)とは異なる例を示す工程図

【図6】実施の形態1のインクジェットヘッドの正面図

【図7】実施の形態1のインクジェットヘッドの一例における、印加電圧に対する振動板のたわみ量を示す図

【図8】実施の形態1のインクジェットヘッドの他の例における、印加電圧に対する振動板のたわみ量を示す図

【図9】実施の形態2のインクジェットヘッドの製造方法において、シリコン基板15上に圧電振動部を形成し

た時の断面図

【図10】実施の形態2のインクジェットヘッドの製造方法の主要な工程を示す工程図

【図11】実施の形態3の製造方法により作製されるインクジェットヘッドの特徴を示す部分断面図

【図12】実施の形態3のインクジェットヘッドの製造方法の主要な工程を示す工程図

【図13】(a)実施の形態4のインクジェットヘッドの構成を示す斜視図

(b) 図13(a)のC-C'線についての断面図

【図14】図13(a)のD-D'線についての断面図

【図15】実施の形態4の変形例の圧電振動部の構成を示す部分断面図

【図16】実施の形態4における好ましい接続構造を示す部分断面図

【図17】実施の形態4における他の好ましい接続構造を示す部分断面図

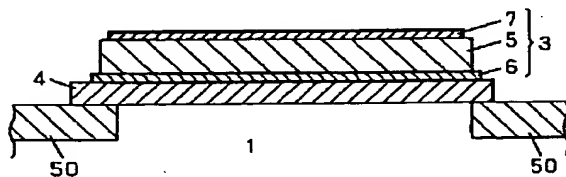
【図18】実施の形態5のインクジェットヘッドの構成を示す部分断面図

【図19】実施の形態6のインクジェットヘッドの構成を示す斜視図

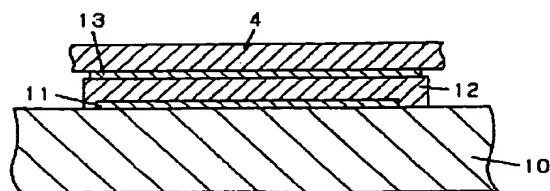
【符号の説明】

- 1 圧力室
- 2 吐出口
- 3 圧電素子
- 4 振動板
- 5 圧電膜
- 6, 7 電極
- 8 第1層
- 9 第2層
- 30 圧電振動部
- 50 本体部

【図2】

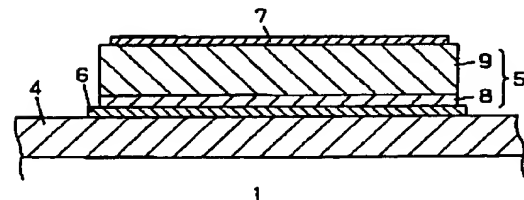


【図4】

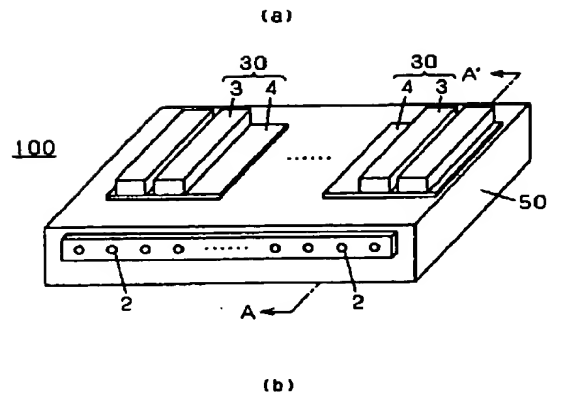


【図3】

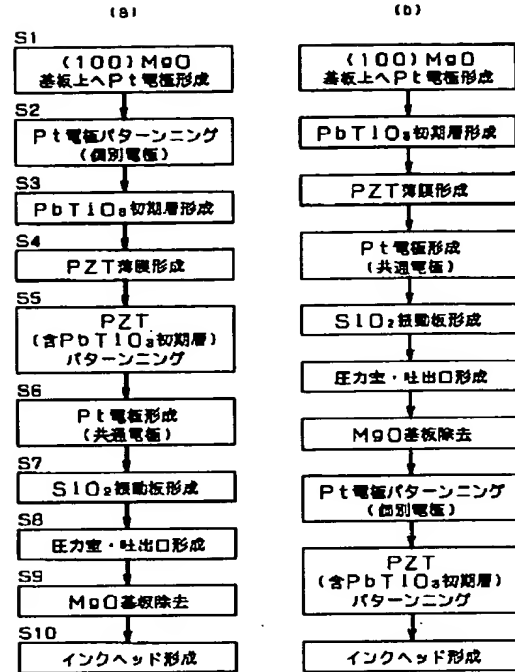
- 1 圧力室
- 4 振動板
- 5 圧電膜
- 6, 7 電極
- 8 第1層
- 9 第2層



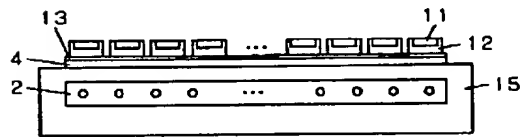
【図1】



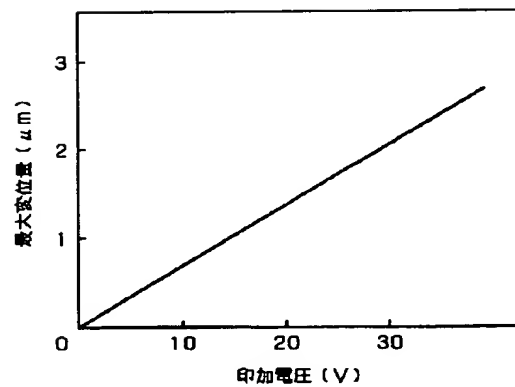
【図5】



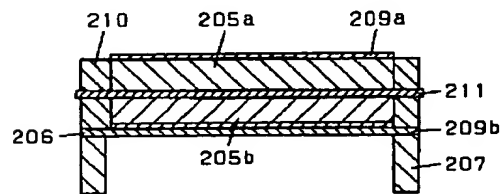
【図6】



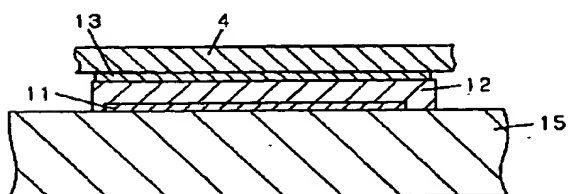
【図7】



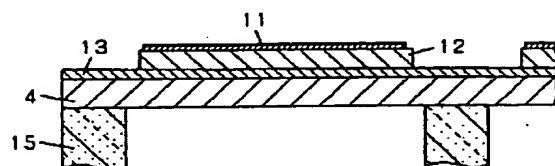
【図15】



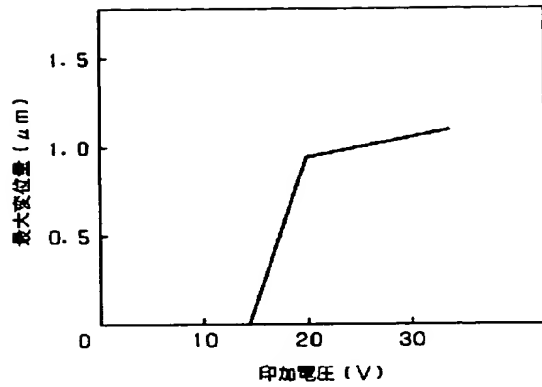
【図9】



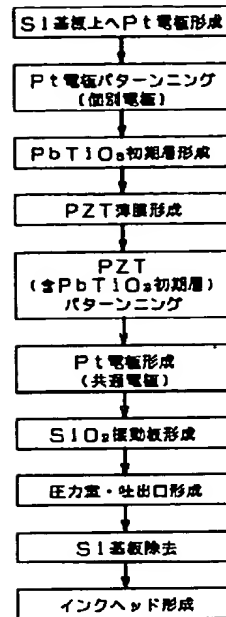
【図11】



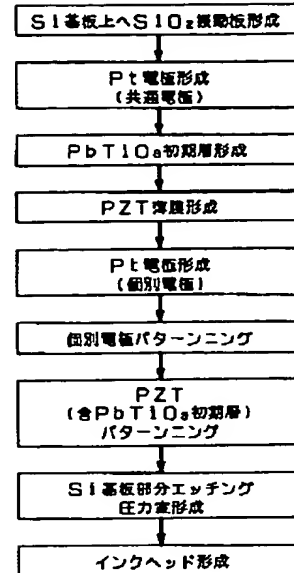
【図8】



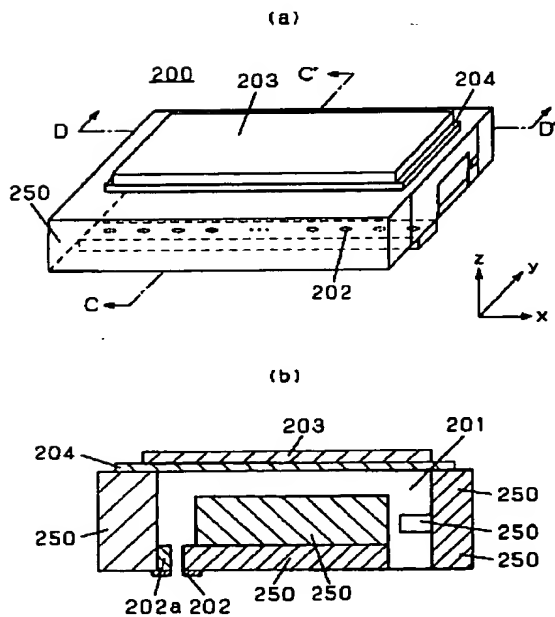
【図10】



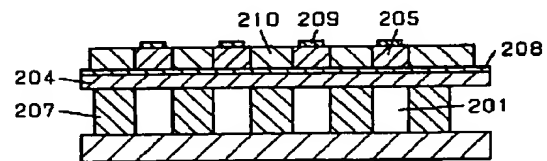
【図12】



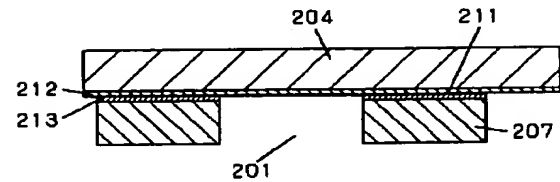
【図13】



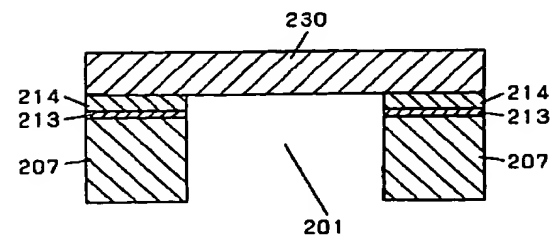
【図14】



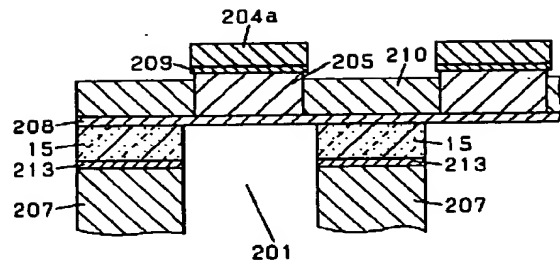
【図16】



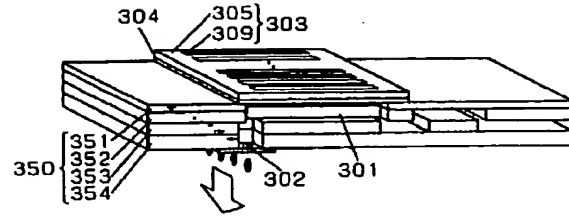
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 藤井 寛
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内